

正方形断面容器のスロッシング制振対策に関する一考察

○中央大学 学生員 曾根龍太 中央大学 正会員 平野廣和
 (株)十川ゴム 正会員 井田剛史 中央大学 正会員 佐藤尚次

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災(M9.0)で、スロッシング現象と思われる液面揺動により、水道施設等にある鋼製やFRP製の正方形受水槽において側面と天井に亀裂や破損が多数発生した。これらの被害は震源に近い宮城県栗原市、仙台市周辺のみならず、200km以上離れたつくば市でも被害が生じている。ここでは病院の受水槽被害で水が使えなくなったことから、救急搬送を中止せざるを得なかったとのことである。この種の正方形受水槽の被害は、阪神淡路大震災を初めとして能登半島沖地震、新潟県中越沖地震でも発生しており、直下型地震、海溝型地震に問わずに発生する事例である。よって、今後十分な検討が必要な事柄の一つである。

矩形断面容器のスロッシング制振対策の方法としては、著者ら¹⁾の研究Gr.が金網を容器内に設置することで制振効果を発揮することを提案している。また鈴木ら²⁾の研究Gr.は、側壁にプラスチック繊維を貼り付ける方法を提案している。しかし正方形容器において加振方向角を有した場合、スロッシング挙動そのものが矩形容器と異なることが報告^{3,4)}されているので、加振方向角をパラメータとした検討が必要となる。

以上のことから、本報では正方形容器に開口率の異なる2種の金網を2種の配置方法で設置し、加振方向角を変化させながら振動実験を行い、スロッシング制振対策を検討する。

2. 実験概要

本研究は、図-1に示すように一辺が438mmの正方形断面容器を用い、ここに水深120mmまで水を入れることにする。これを、本学所有の振動装置に設置して加振実験を行う。

応答波高の計測は、デジタルビデオカメラ(以下、DVC)を用いた非接触計測で行い、遠田⁴⁾らの研究と同様の方式を採用する。

ところで、スロッシング発生時に応答波高が最も大きくなるのは、入力振動数とスロッシング固有振動数が一致して共振した場合である。そのため、矩形水槽のスロッシングn次モード振動数を式(1)の理論式²⁾で表すことが出来る。

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{(2n-1) \cdot \pi \cdot g}{L} \cdot \tanh\left(\frac{(2n-1) \cdot \pi \cdot H}{L}\right)} \quad (1)$$

ここで、 f はスロッシング固有振動数、 g は重力加速度、 L は容器の幅、 H は水深である。式(1)より、実験で用いる正方形断面容器のスロッシング1次、2次モード振動数の理論値は、表-1に示すようにそれぞれ1.11Hz、2.30Hzである。

加振実験の設定条件を表-2に示す。加振振動数は1次モードで1.1Hz、2次モードで2.3Hzであり、加振振幅は±3mm、起振時間は5秒とする。これは、振動台の

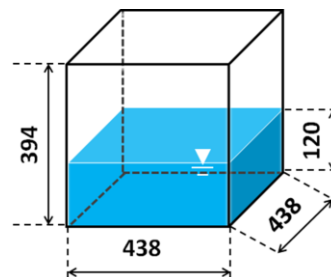


図-1 容器の寸法

表-1 スロッシングn次モード振動数理論値

水深 [mm]	容器の幅 [mm]	1次モード [Hz]	2次モード [Hz]
120	438	1.11	2.30

表-2 振動装置の設定条件

振動数 [Hz]	振幅 [mm]	起振時間 [s]
1.1, 2.3	±3.0	5.0

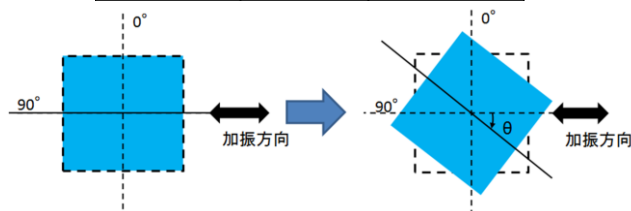


図-2 正方形容器の加振方向角の設定方法

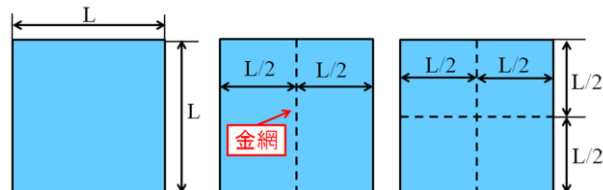


図-3 水槽上部から見た金網設置位置

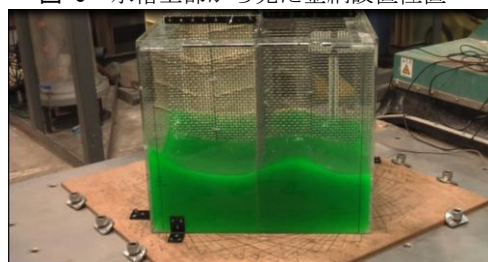


写真-1 実験風景 (十字型の金網を設置)

能力から決定した値であり、遠田⁴⁾らの実験と同様に設定をしている。また、正方形断面容器を加振する方向角 θ を図-2の様に定義して、 $\theta=0^\circ \sim 90^\circ$ の間で15°間隔で設定している。本研究では、加振方向角を変化させながら加振実験を行い、最大波高を計測してスロッシング挙動の違いを調べることとする。

3. 制振方法の検討

各種容器におけるスロッシング対策は、これまで様々な検討が行われており、この中で自由表面を有する矩形断面では、抵抗板を利用する方法が代表的な方法である。この方法は、流れ場を直接コントロールす

る方法であり、機械的な要素が無く単純かつ安定した制振効果が期待できる。例えば自由表面付近に側壁から水平に抵抗板を設置したもの、鉛直方向に抵抗板を配置してここで生じる渦により減衰効果を得るものなどがある。しかし、これらは新設の受水槽には設置し易いが、既存の受水槽に設置する場合は、内部の定期清掃との関係やその清掃方法など十分検討しなくてはならない課題が残っている。

これに対し本研究で提案する方法は、やや長周期の固有振動数を有する構造物の卓越した振動方向の制振装置として開発されたスロッシングダンパーの考え方を応用したものである。この方法により期待できる効果は、スロッシングにより液体揺動が生じた時、液体が金網を通過するときに抵抗力が生じ、水の粘性が見掛け上大きくなることである。これにより減衰が付加され、流速を抑えて波高を低減することができる。

本研究で用いた金網は、十分な剛性を有する亜鉛引織金網であり、広く一般に入手可能なものである。ここで金網の開口率は、各々46.9%、76.4%とする。金網の配置は、図-3 に示すように水槽を2等分する所に1枚配置するケースと、十字型に配置するケースの2種類の配置方法を採用する。この金網をL字アングルで水槽に固定し設置する。写真-1 に十字型の金網を設置した状態の実験風景を示す。

4. 実験結果

DVC で撮影した映像データをパソコンに取り込み、1コマ 1/30 秒のコマ送り機能を用いて、実寸法の比率で割り出して実単位での最大波高を算出する。本実験では、開口率の異なる2種の金網を図-3 に示すように2種の配置とし、これを組み合わせた全4パターンの制振対策を検証するため、これらを制振①～④とし、初期値としての非制振の場合とで最大波高の比較を行う。この時使用したデータは、起振終了後に波が自由減衰振動となつてからのデータを用いている。

(1) 1次モードの検討

図-4 に1次モードの各加振方向角における最大波高を示す。1次モードの波高は、加振終了時が最も高くなりこれを最大波高とする。制振①の場合、加振方向角90°の場合において制振効果が認められず、限られた条件の基でしか制振効果が確認されていない。また制振②の場合、制振①よりも波高が抑えられてはいるが、加振方向角90°の場合において制振効果が認められない。これに対して制振③は、いずれの加振方向角においても制振効果が確認でき、非制振の場合と比較すると波高が10～40%程度低減されている。制振④ではさらに制振効果が大きくなり、同様に比較すると波高が35～50%程度低減されている。制振③と④の効果の差は、網の開口率の違いによるものと考えられる。

(2) 2次モードの検討

図-5 に2次モードの各加振方向角における最大波高を示す。2次モードの波高は、加振終了時とその後回転運動が生じて複数回に最大値を示し、1次モードより大きな値となる。また、加振方向角を変化させた場合、45°においてその値は最大となる。遠田⁴⁾によれば、加振方向角が変化すると液面形状、スロッシング挙動に影響を及ぼし、さらに回転する挙動が促されて波高が増大すると指摘されている。制振①～④の制振効果は、

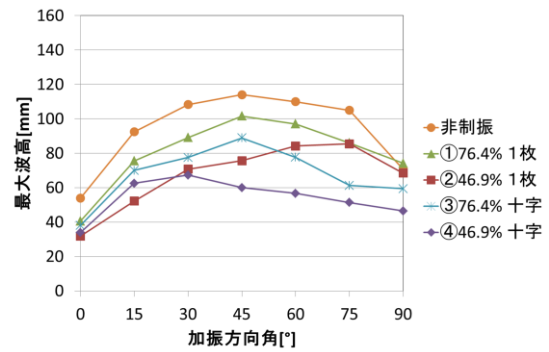


図-4 1次モードの各加振方向角における最大波高

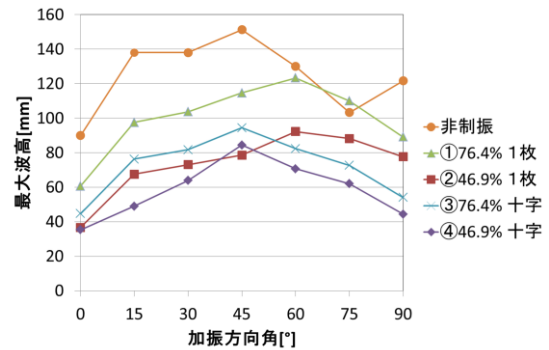


図-5 2次モードの各加振方向角における最大波高

1次モード同様に制振④が最大となり、非制振の場合と比較すると波高が40～65%程度低減されている。制振③の場合は同様に波高が10～55%程度低減されている。

5. おわりに

開口率の小さい網を十字型に配置することで、最大波高は制振③で1次モード10～40%、2次モード10～55%程度、制振④で1次モード35～50%、2次モード40～65%程度低減されることが確認できた。

また、4種類の制振対策の実験結果から、開口率が小さくなる程水が金網を通過するときの抵抗力が大きくなり、流速を抑制して波高を低減する効果が大きくなることがわかった。また形状については、金網を1枚配置する制振①、②において、加振方向角45°以降では制振効果が小さく、加振方向角90°では制振効果が期待できない。その原因としては、加振方向角が変化すると、金網を通過する水の量に変化し、加振方向角90°においては、加振方向と平行に金網が配置された状態になるので、水が金網を通過せず、抵抗力が得られないためと考えられる。それに対して十字型に配置した制振③、④は、いずれの加振方向角においても水が金網を通過することになるので、波高を低減することができると思われる。

参考文献

- 1) 池田, 井田, 平野, 佐藤: 矩形断面容器におけるスロッシング対策案の検討, 応用力学論文集, Vol. 11, pp549- 556, 2008. 8.
- 2) 則竹, 鈴木, 奥野, 奥村: 矩形貯層のスロッシング現象抑制方法に関する実験的研究, 土木学会中部支部研究発表会, I-6, 2012. 3.
- 3) 鈴木, 奥村: 加振方向角を変えた矩形貯層のスロッシング現象に関する基礎的実験, 土木学会第65回年次学術講演会, I-646, 2010. 9.
- 4) 遠田, 井田, 平野, 佐藤: 加振方向角を変化させた正方形断面容器のスロッシング挙動, 土木学会第67回年次学術講演会(投稿中), 2012. 9.